

## **A-RBR: sistema de alerta em caso de rompimento de barragem de rejeito de minério**

Bruna Cristina Mendes<sup>1</sup>; José Luiz Maciel<sup>2</sup>; Fernando Paim Lima<sup>3</sup>; Paloma Maira de Oliveira Lima<sup>4</sup>

1 Bruna Cristina Mendes, Bolsista PIBIC/IFMG, Curso: Ciência da Computação, IFMG Campus Formiga, Formiga - MG; brumendes102@gmail.com

2 José Luiz Maciel, Voluntário PIBIC/IFMG, Curso: Ciência da Computação, IFMG Campus Formiga, Formiga - MG; joseluizmaciel@gmail.com

3 Fernando Paim Lima, Orientador: Pesquisador do Grupo de Pesquisa Aplicada em Sistemas Inovadores e Inteligentes, Campus Formiga; fernando.lima@ifmg.edu.br

4 Paloma Maira De Oliveira Lima, Co-Orientador: Pesquisadora do Grupo de Pesquisa Aplicada em Sistemas Inovadores e Inteligentes, Campus Formiga; paloma.oliveira@ifmg.edu.br

**Palavras-chaves:** Visão computacional; barragem de rejeito de minério; Brumadinho; sistema de alerta; redes neurais convolucionais.

### **RESUMO**

Recentemente no Brasil puderam ser observados diversos acidentes com barragens de rejeito de minério, neste sentido, alternativas para minimizar consequências de tais desastres devem ser propostas pela comunidade acadêmica e pela indústria no segmento. Inserido neste contexto, este trabalho tem o objetivo de propor um protótipo de uma nova ferramenta de alerta de rompimento de barragens de rejeito de minério baseada em tecnologias de visão computacional, que a partir de análise das imagens possa gerar um indicativo do momento de seu rompimento de forma autônoma e distante da respectiva barragem, preservando o sistema de alerta no caso de rompimento. Dessa forma, no caso de rompimento, a ativação de sirenes adicionais se torna possível e as consequências do desastre, em um contexto humanitário, poderá ser minimizado.

### **INTRODUÇÃO:**

Após a tragédia ocorrida em Brumadinho-MG foram divulgadas classificações de barragens quanto ao risco de desabamento realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Atualmente existem diversas barragens de rejeito de minério no Brasil, várias delas estão classificadas como de alto risco.

É notória a recorrência de rompimentos de barragens no Brasil. O mais est arrecedor é que foi destaque na imprensa nacional que as sirenes não tocaram para alertar trabalhadores e comunidades próximas quando represa do Córrego do Feijão em Brumadinho-MG se rompeu.

Neste contexto, observa-se a necessidade novas propostas e desenvolvimento de novos métodos para alerta no caso de rompimento de barragens de rejeito, com o intuito de amenizar impactos deste tipo de tragédia, sobretudo o impacto humanitário. O uso de técnicas de visão computacional pode auxiliar no desenvolvimento de uma ferramenta eficiente a uma distância segura, para alerta de rompimento de barragens de rejeito de minério.

De acordo com o contexto apresentado, este trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta de protótipo de ferramenta, que a partir de análises de imagens em tempo real de uma barragem de rejeito de minério, possa gerar um sinal de alerta no momento em que a barragem se rompe, podendo amenizar impactos humanitários em decorrência do rompimento de barragens.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: A metodologia abordada para o projeto do protótipo da ferramenta é apresentada na Seção 2; Os resultados e discussões expõem as

características essenciais do sistema **A-RBR** na Seção 3; Conclusões e agradecimentos estão inseridos na Seção 4.

## **METODOLOGIA:**

Nesta seção serão apresentados os conceitos/tecnologias que serão empregados para a realização deste projeto de pesquisa. Frisa-se que esse trabalho é desenvolvido a partir de técnicas de visão computacional (VC) seguindo etapas recorrentes em sistemas de VC. Também é importante salientar que o protótipo ainda não foi completamente finalizado.

### **Análise, Modelagem e Projeto do sistema**

- Linguagem de Modelagem Unificada (UML): trata-se uma linguagem padrão para modelagem orientada a objetos. A UML consiste em auxiliar a visualização de como os objetos se comunicam, permitindo que os desenvolvedores vejam o seu trabalho em forma de diagramas padronizados, logo, é bastante usada na criação de modelos de sistemas de software [BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 2005]. Os diagramas da UML são divididos em estruturais, que tratam classes, objetos, componentes, implantações, pacotes e estruturas, e em diagramas comportamentais que abordam casos de uso, máquina de estados, atividades e interações [PRESSMAN, 2011].
- DIA: é uma ferramenta de modelagem para uso geral, livre e de código aberto [DIA, 2017a]. Possui uma interface de documento único, com um design modular com diversos pacotes disponíveis para diferentes necessidades, como fluxogramas, UML, diagramas de rede e diagramas de circuito [DIA, 2017b].

### **Implementação do sistema**

- PYTHON: De acordo com Borges (2014), Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada (o *script* compilado passa por um interpretador antes de se comunicar com o código), imperativa, e orientada a objetos. É uma ferramenta robusta e capaz de realizar tarefas complexas, e ao mesmo tempo fácil de aprender e manipular. Tem uma biblioteca padrão grande que contém classes, métodos e funções para realizar essencialmente qualquer tarefa, desde acesso a bancos de dados a interfaces gráficas com o usuário. Existem, também, muitas ferramentas para lidar com dados científicos e imagens digitais.
- OPENCV: O OpenCV (Open Source Computer Vision Library) é uma biblioteca de de visão computacional e aprendizado de máquina em código aberto. O OpenCV foi construído para fornecer uma infra-estrutura comum para aplicativos de visão computacional e possui mais de 2500 algoritmos otimizados, o que inclui um conjunto abrangente de algoritmos de última geração. Esses algoritmos podem ser usados para detectar e reconhecer rostos, identificar objetos, classificar ações humanas em vídeos, rastrear movimentos de câmera, rastrear objetos em movimento, extrair modelos 3D de objetos, entre outros [OPENCV, 2019].

- **DEEP LEARNING:** Aprendizagem profunda trata-se de métodos de aprendizagem de máquina (*Machine Learning*) com múltiplos níveis de representação, obtidos pela composição de módulos simples, mas não lineares, que transformam a representação em um nível (começando com a entrada bruta) em uma representação em um nível um pouco mais abstrato [LECUN; BENGIO; HINTON, 2015]. Em vez de organizar os dados para execução através de equações predefinidas, o *Deep Learning* configura parâmetros básicos sobre os dados e treina o computador para aprender sozinho através do reconhecimento de padrões em várias camadas de processamento. Com a composição de tais transformações em sua representação, funções muito complexas podem ser aprendidas.
- **CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN):** Uma Rede Neural Convolutiva (ConvNet ou CNN) é um algoritmo de Aprendizagem Profunda (*Deep Learning*) que pode captar uma imagem de entrada, atribuir importância (pesos que podem ser aprendidos e limiares) a vários aspectos/objetos da imagem e ser capaz de diferenciar um do outro. O pré-processamento exigido em um ConvNet é muito menor em comparação com outros algoritmos de classificação. Enquanto nos métodos primitivos os filtros são feitos à mão, com treinamento suficiente, os ConvNets têm a capacidade de aprender esses filtros/características [SAHA, 2018].
- **TensorFlow:** é uma biblioteca de código aberto para computação numérica usando grafos computacionais. Os nós do grafo representam operações matemáticas, enquanto as arestas do grafo representam as matrizes de dados multidimensionais (tensores) que fluem entre elas. Essa arquitetura flexível permite que você implante computação em uma ou mais CPUs ou GPUs em um desktop, servidor ou dispositivo móvel sem reescrever o código [Abadi et al., 2016]. Foi originalmente desenvolvido pela Google Brain Team na organização de pesquisa Machine Intelligence do Google para aprendizado de máquina e pesquisa de redes neurais profundas (*Deep Learning*), mas a biblioteca é geral o suficiente para ser aplicada em uma grande variedade de outros domínios também.

#### **Acompanhamento e avaliação do projeto durante a execução:**

O **A-RBR** utiliza os princípios da metodologia ágil SCRUM [Schwaber, 2001]. Dessa forma, as atividades previstas são divididas em Sprints. Para acompanhamento das atividades semanal de cada membro do projeto é utilizado a ferramenta online Trello. O Trello pode ser visto como um Kanban virtual [Kaltenecker et al., 2014] e destaca-se por ser uma ferramenta gratuita [Trello, 2018]. Essa ferramenta fornece uma visão muito transparente para todos os envolvidos da situação atual do projeto, bem como das atividades que estão atrasadas e adiantadas. O foco é desenvolver um MVP inicial para verificar a aceitação do projeto [Ries, 2011].

#### **RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

Conforme descrito anteriormente, ferramenta em questão ainda está em fase de desenvolvimento. Essa seção apresenta as características essenciais do sistema **A-RBR**.

O ciclo básico de funcionamento do *core* do **A-RBR** é apresentado na Figura 1 e descrito a seguir:

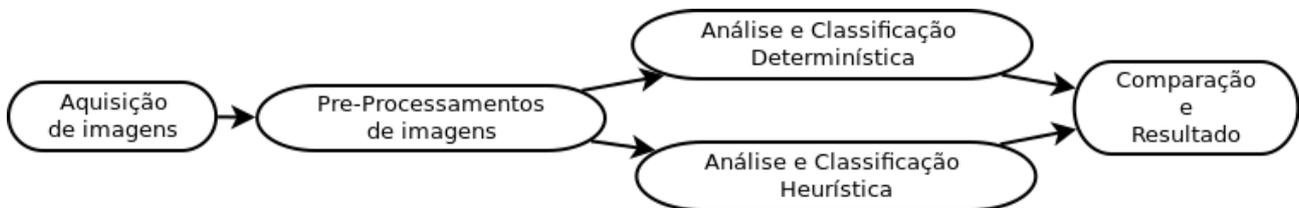


Figura 1: Ciclo básico de funcionamento do **A-RBR** – *Core*. Fonte: Sistema A-RBR

1. Aquisição de imagens: Fluxo de imagens (*frames*<sup>1</sup> sequenciados) de um dispositivo externo (câmera) de aquisição de imagens conectado ao dispositivo computacional responsável pela execução do sistema **A-RBR**. Neste processo, além da aquisição de imagens, no *software* é realizada a calibração da aquisição, ajustando a imagem de acordo com a possível deformidade causada pelo abaulamento da lente do sensor.
2. Pré-Processamentos: Acontece a aplicação de filtros e máscaras distintos para imagens que serão direcionadas aos módulos de análise e classificação do estado em que a barragem se encontra.
3. Segmentação: Acontece a segmentação primária de imagens que irão para análise nos próximos módulos.
4. Análise e Classificação:
 

Nesta etapa, acontecem análises que avaliam o estado atual da barragem (em tempo real) a fim de classificar seu estado como **rompimento** ou **não rompimento**.

  - a. Determinística: a partir de uma metodologia desenvolvida no próprio projeto, a análise determinística da imagem será realizada, e a classificação do estado atual da barragem por conseguinte. Esta análise possui etapas de segmentação própria e extração de características para posterior classificação determinística da imagem.
  - b. Heurística: Nesta análise somente é realizado um pré-processamento específico (*Downsample*<sup>2</sup>) a fim da utilização da técnica heurística de classificação CNN para retorno do estado em que se encontra a barragem.
5. Comparação e Resultado: Após as análises acontecerem simultaneamente, caso uma das análises houver a classificação (hipótese) de rompimento, então o sistema aciona um gatilho para alerta.

<sup>1</sup> *Frame*: quadro, uma imagem dentro de uma sequência de imagens que formam um vídeo

<sup>2</sup> *Downsample*: no contexto de processamento digital de imagens trata de técnica específica para redução de resolução de imagem.

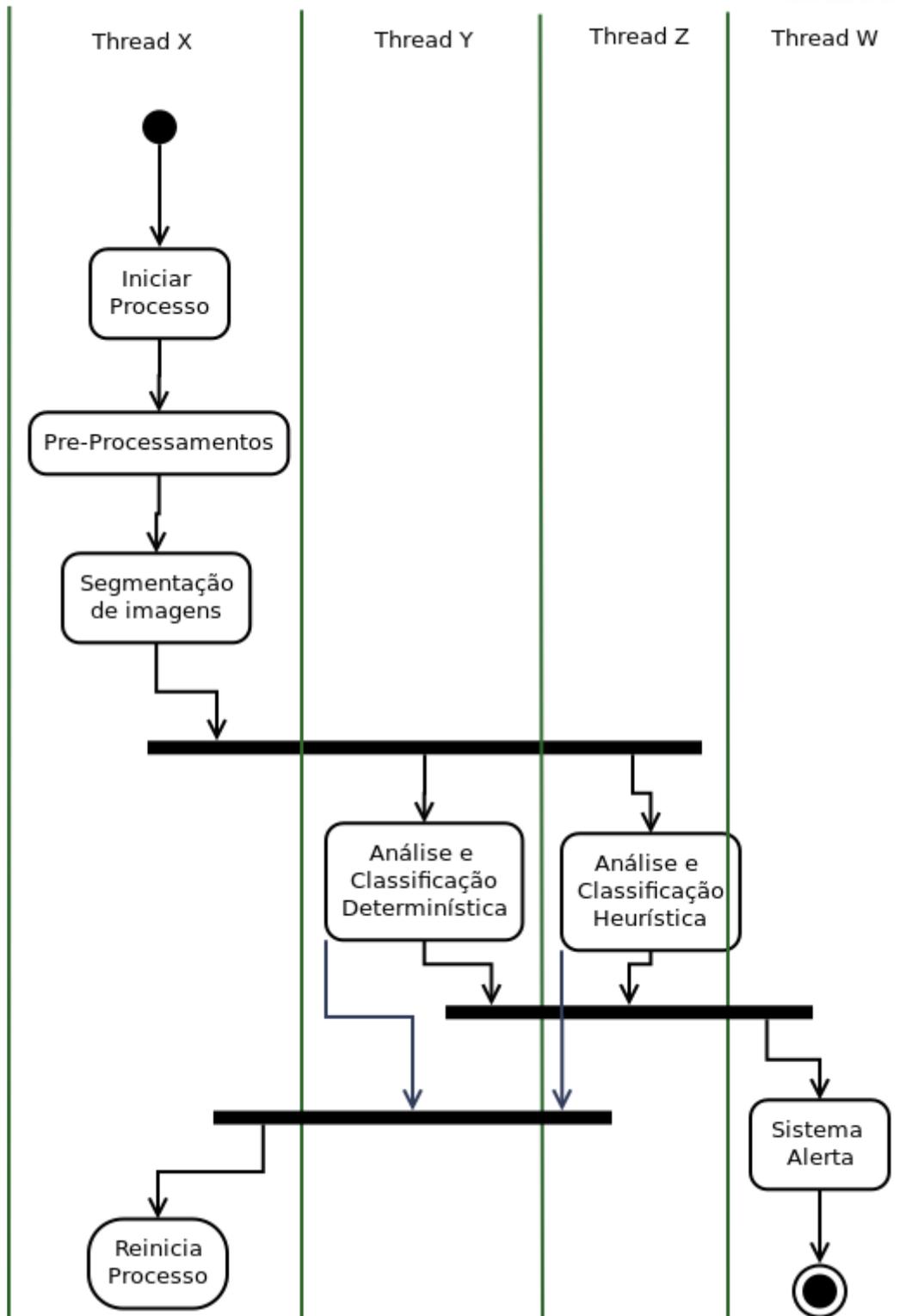


Figura 2: Mapa de *threads*<sup>3</sup> do sistema. Fonte: Sistema A-RBR

<sup>3</sup> *Thread*: em um contexto de *software*, se caracteriza em um subsistema com execução que pode ser independente ou sequencial em referência ao *software* que a originou.

Para otimizar o processamento dos módulos dispostos, a utilização de um sistema *multithread* é útil pois processamentos independentes podem ser realizados em *threads* distintas, de forma a não comprometer a realização de análises num fluxo contínuo de imagens(*frames*) em tempo real crítico.

Vale ressaltar que o processo de análise e classificação determinística está em funcionamento e a metodologia proposta foi submetida para uma revista científica em formato de artigo, não podendo ser demonstrada neste documento antes de sua publicação.

## CONCLUSÕES:

Esse artigo apresentou o protótipo de ferramenta A-RBR, ferramenta voltada para análise de imagens e alerta imediato caso ocorra o rompimento de uma barragem (de rejeito de minério) supervisionada pela ferramenta de forma autônoma.

Acredita-se que pelo fato da central de processamento e aquisição de imagens ficar distante (suficientemente) da represa, sem conexões via cabo com a região de interesse(apenas imagens a longa distância), a ferramenta terá menor risco de ser danificada caso ocorra o rompimento da barragem.

A princípio, a proposta aqui apresentada não tem a pretensão de substituir sistemas de alerta já existentes no mercado. O objetivo é acrescentar, dar mais uma alternativa (até como ferramenta redundante) para sistemas de segurança de mineradoras que possuem barragens de rejeito de minério.

No melhor de nosso conhecimento, não existe em território nacional uma solução igual ou a essa. Acredita-se ainda que este é um projeto prático de caráter inovador que visa gerar um novo produto para o setor de segurança em mineradoras. Espera-se que a A-RBR permita que impactos humanitários sejam amenizados no caso de rompimento de uma barragem.

Como sugestões de trabalhos futuros, objetiva-se embarcar a ferramenta em um dispositivo computacional a fim de estabelecer um mínimo produto viável. Trabalhar ensaios à exaustão em laboratório, ajustar a ferramenta a partir dos resultados obtidos e posteriormente realizar testes em ambiente relevante.

**Agradecimentos:** Este trabalho foi apoiado pela Secretaria de Pesquisa, Pós-Graduação e Extensão do IFMG-Campus Formiga através do edital nº 025/2019 e pelo Polo de Inovação do IFMG por ceder espaço físico e equipamentos durante o período do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., Devin, M., Ghemawat, S., Irving, G., Isard, M., Kudlur, M., Levenberg, J., Monga, R., Moore, S., Murray, D. G., Steiner, B., Tucker, P., Vasudevan, V., Warden, P., Wicke, M., Yu, Y., and Zheng, X. Tensorflow: A system for large-scale machine learning. Tech. rep., Google Brain, 2016.
- BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. *UML: Guia do Usuário*. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2005.
- BORGES, L. E. Python para desenvolvedores. Rio de Janeiro - Brasil: Editora Novatec, 2014. 360 p. 27, 29.
- DAVENPORT, T. H. *Reengenharia de Processos: como inovar na empresa através da tecnologia da informação*. Rio de Janeiro: Campus, 2004.
- DIA. *Dia Manual*. Disponível em: <<http://dia-installer.de/doc/en/index.html>>. Acesso em: 10 de maio 2017.
- DIA. *Dia Project*. Disponível em: <<https://wiki.gnome.org/Apps/Dia>>. Acesso em: 10 de maio 2017.

GONÇALVES, J. E. L. As empresas são grandes coleções de processos. *Revista de administração de empresas*, SciELO Brasil, v. 40, n. 1, p. 6–9, 2000.

Kaltenecker, S., Beyer, M., 2014, InfoQ: Kanban on track. Evolutionary change management at the Swiss Railways. Disponível em: <<http://www.infoq.com/articles/kanban-on-track>> Acesso em: 10 de outubro de 2018.

KERZNER, H. *Gestão de Projetos: As melhores práticas*. [S.l.]: Bookman Editora, 2016.

LECUN, Y., BENGIO, Y., & HINTON, G. (2015). *Deep learning*. *Nature*, 521(7553), 436–444.

OLIVEIRA, D. d. P. R. d. *Administração de processos: conceitos, metodologia, práticas*. São Paulo: Atlas, v. 1, 2006.

OPENCV. About. Disponível em:<<https://opencv.org/about/>>. Acesso em: 09 de Julho de 2019.

PRESSMAN, R. S. *Engenharia de software: uma abordagem profissional*. 7ª edição. Ed: McGraw Hill, 2011.

RIES, E. *The LEAN STARTUP*. United States of America: Crown Business, 2011, p. 77.

SAHA, S. (2018). *A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks—the ELI5 way*. Disponível em: <<https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>> Acesso em: 09 de Julho de 2019.

SCHWABER, K.; *Agile Software Development with Scrum*. Prentice Hall, 2001.

SORDI, J. O. D. *Gestão por processos: uma abordagem da moderna administração*. [S.l.]: Saraiva, 2005.

TRELLO. Disponível em: <<http://www.trello.com>>. Acesso em 15 de outubro de 2018.

WAZLAWICK, R. *Engenharia de software: conceitos e práticas*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2013.

**Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual:** Temos intenção em registrar o software como forma de proteção intelectual.